

**JP2003004995**

Publication Title:

DISPERSION-COMPENSATED OPTICAL FIBER AND DISPERSION-COMPENSATED OPTICAL FIBER MODULE

Abstract:

Abstract of JP2003004995

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To provide a dispersion-compensated optical fiber module which has small loss variation over a wide temperature range even when wound around a small-sized reel. **SOLUTION:** The radius ratio  $b/a$  of a core part 2 to a center core part 1 is 2.5 to 4.0, the radius ratio  $c/b$  of a ring core part 3 to the core part 2 is 1.1 to 2.0, and the ring core diameter is 6 to 8  $\mu\text{m}$ . The specific refractive index  $\Delta 1$  of the center core part 1 is 1.2 to 1.7%, the specific refractive index  $\Delta 2$  of the core part 2 is -0.20 to -0.45%, and the specific refractive index  $\Delta 3$  of the ring core part 3 is 0.2 to 1.1%. This dispersion-compensated optical fiber is coated with resin of, preferably,  $\leq 10$  g/mm in stickiness and, more preferably,  $\leq 1$  g/mm.

Data supplied from the esp@cenet database - Worldwide

-----  
Courtesy of <http://v3.espacenet.com>

*This Patent PDF Generated by Patent Fetcher(TM), a service of Stroke of Color, Inc.*

(19) 日本国特許庁 (J P)

## (12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2003-4995

(P2003-4995A)

(43) 公開日 平成15年1月8日 (2003.1.8)

(51) Int.Cl.<sup>7</sup>

識別記号

F I

テームト\* (参考)

G 0 2 B 6/44  
6/163 0 1  
3 3 1G 0 2 B 6/44  
6/163 0 1 A 2 H 0 5 0  
3 3 1

審査請求 有 請求項の数 11 O L (全 10 頁)

(21) 出願番号 特願2001-193546 (P2001-193546)

(22) 出願日 平成13年6月26日 (2001.6.26)

(71) 出願人 000005186

株式会社フジクラ

東京都江東区木場1丁目5番1号

(72) 発明者 愛川 和彦

千葉県佐倉市六崎1440番地 株式会社フジ  
クラ佐倉事業所内

(72) 発明者 長沢 豊

千葉県佐倉市六崎1440番地 株式会社フジ  
クラ佐倉事業所内

(74) 代理人 100064908

弁理士 志賀 正武 (外3名)

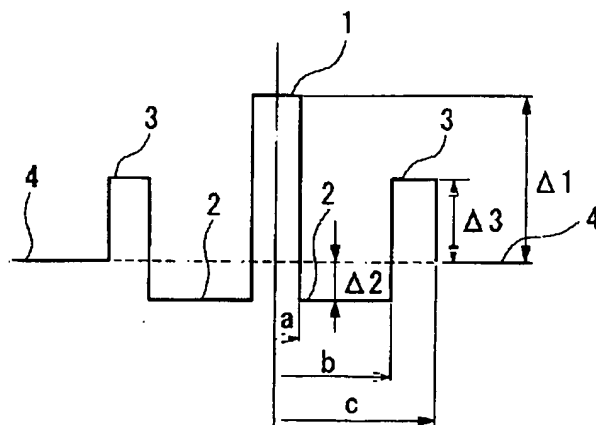
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 分散補償光ファイバ及び分散補償光ファイバモジュール

(57) 【要約】

【課題】 小型リールに巻き込んでも、広い温度範囲で損失変動が小さい分散補償光ファイバモジュールを提供する。

【解決手段】 中心コア部1の半径に対するコア部2の半径の比である  $b/a$  は2.5から4.0であり、コア部2の半径に対するリングコア部3の半径の比  $c/b$  は1.1から2.0であり、リングコア半径は  $6\mu\text{m}$  から  $8\mu\text{m}$  である。中心コア部1の比屈折率  $\Delta 1$  は1.2%から1.7%、コア部2の比屈折率  $\Delta 2$  は-0.20%から-0.45%、リングコア部3の比屈折率  $\Delta 3$  は0.2%から1.1%である。この分散補償光ファイバは、粘着性が  $10\text{g/mm}$  以下である樹脂によって被覆されることが好ましく、さらに、粘着性が  $1\text{g/mm}$  以下である樹脂によって被覆されることがより好ましい。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 光信号を伝送する際に生じる波長分散を補償する分散補償光ファイバにおいて、

粘着性が10g/mm以下となる樹脂被覆を形成したことを特徴とする分散補償光ファイバ。

【請求項2】 前記被覆の最外層はシリコンを1重量%以上含有していることを特徴とする請求項1記載の分散補償光ファイバ。

【請求項3】 1層又は2層の被覆表面に、少なくとも3 $\mu$ m以上の厚さのコーティングを行って最外被覆層を形成することにより、粘着性が1g/mm以下となる樹脂被覆を形成したことを特徴とする分散補償光ファイバ。

【請求項4】 前記最外被覆層は紫外線硬化型ウレタンアクリレート樹脂等からなる着色剤により形成されることを特徴とする請求項3記載の分散補償光ファイバ。

【請求項5】 前記最外被覆層は、該光ファイバの線引き工程とは別工程により形成されることを特徴とする請求項3又は4記載の分散補償光ファイバ。

【請求項6】 ガラス外径が90 $\mu$ mから125 $\mu$ mであり、1層又は2層の前記被覆層の厚さが180 $\mu$ mから250 $\mu$ mであることを特徴とする請求項1、2、3、4又は5記載の分散補償光ファイバ。

【請求項7】 前記光ファイバの曲げ損失特性が、曲げ直径が20mmで、波長1.52から1.63 $\mu$ m帯から選択された使用波長帯域で、20dB/m以下であることを特徴とする請求項1、2、3、4、5又は6記載の分散補償光ファイバ。

【請求項8】 1.52 $\mu$ mから1.63 $\mu$ mまでの波長帯域から選択された少なくとも1つ以上の波長の光に対して、有効コア断面積が19 $\mu$ m<sup>2</sup>以上、波長分散が-70ps/nm/km以下であり、

実質的にシングルモード光を伝搬することが可能なカットオフ波長を有し、

使用される波長帯域よりも短波長の零分散波長を有するシングルモード光ファイバの波長分散を零に補償することができる長さで、このシングルモード光ファイバの波長分散を補償したときの分散スロープの補償率が80%から120%であることを特徴とする請求項1、2、3、4、5、6又は7記載の分散補償光ファイバ。

【請求項9】 クラッド部の屈折率より大きい屈折率を有する中心コア部と、この中心コア部の外周に設けられクラッド部の屈折率より小さい屈折率を有するコア部と、このコア部の外周に設けられクラッド部の屈折率より大きい屈折率を有するリングコア部と、このリングコア部の外周に設けられたクラッド部からなるプロファイルを有する分散補償光ファイバであって、

リングコア部半径が6 $\mu$ mから10 $\mu$ m、中心コア部半径に対するコア部半径の比が2.5から4.0、コア部半径に対するリングコア部半径の比が1.1から2.0

であり、

クラッド部に対する中心コア部の比屈折率が1.2%から1.7%、クラッド部に対するコア部の比屈折率が-0.20%から-0.45%、クラッド部に対するリングコア部の比屈折率が0.2%から1.1%であることを特徴とする請求項1、2、3、4、5、6、7又は8記載の分散補償光ファイバ。

【請求項10】 請求項1から9記載の分散補償光ファイバをコイル状に巻き込んで形成することにより、温度による損失変動を抑制したことを特徴とする分散補償光ファイバモジュール。

【請求項11】 前記分散補償光ファイバを20gfから70gfの間の巻き張力で、最小径200mm以下のリールに巻き込んだことを特徴とする請求項10記載の分散補償光ファイバモジュール。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、分散補償光ファイバ及び分散補償光ファイバモジュールに関し、特に、波長1.3 $\mu$ m帯用シングルモード光ファイバに代表されるシングルモード光ファイバを用いて波長1.52~1.63 $\mu$ m帯から選択された使用波長帯で光信号を伝送する際に生じる波長分散、及び分散スロープを補償する分散補償光ファイバ、及びこの分散補償光ファイバを用いた分散補償光ファイバモジュールに関する。

## 【0002】

【従来の技術】エルビウム添加光ファイバ増幅器の実用化に伴って、波長1.52~1.63 $\mu$ m帯では、超長距離無再生中継などの光増幅器を用いたシステムが既に商用化されている。また、通信容量の増大に伴い、波長多重伝送の開発が急速に進められ、既にいくつかの伝送路は商用化されており、今後は、波長帯域の広帯域化、波長多重数の増加が急速に進むと思われる。高速伝送を前提とすると、これらの伝送線路としては伝送帯域で波長分散ができるだけ小さく、かつ、非線形効果を抑制するために波長分散が零にはならない光ファイバであることが望ましい。また、波長多重伝送のためには、使用する帯域でのエルビウム添加光ファイバ増幅器による利得差ができるだけ小さく、波長分散もある程度小さく、さらに使用される波長帯域において各波長間での分散値の差をできるだけ小さくするために、伝送路全体での波長の変化に対する分散の変化の割合（以下「分散スロープ」という）が小さいことも重要である。

【0003】また、最近の長距離システムでは、波長多重数が急激に伸び、光ファイバを伝搬する光のパワーが急激に増加するため、伝送特性の劣化を招く非線形効果の抑制技術が必須である。この非線形効果の大きさは、

$$n_2/A_{eff}$$

で表される。ここで、 $n_2$ は光ファイバの非線形屈折率、 $A_{eff}$ は光ファイバの有効コア断面積である。非線

形効果を低減するためには、 $n_2$ を小さくするか、 $A_{eff}$ を大きくする必要があるが、 $n_2$ は光ファイバを構成する材料に固有の値であるため、石英系の光ファイバでは大きく低減させることは困難である。そのため、現在の非線形効果抑制光ファイバの開発は、光ファイバの有効コア断面積 $A_{eff}$ を大きくすることに主眼が置かれている。現在、波長 $1.3\mu\text{m}$ 帯シングルモード光ファイバ網は、世界中に広がっている。この光ファイバ網を用いて波長 $1.55\mu\text{m}$ 帯の伝送を行うと、約 $+17\text{ps/nm/km}$ の波長分散が生じる。そのため、この光ファイバを用いて光信号を伝送すると、分散の影響で伝送特性が大きく劣化する。

【0004】この波長分散を補償するために分散補償光ファイバの開発が進められ、すでに商用化されている。この分散補償光ファイバは、波長 $1.55\mu\text{m}$ 帯で大きな負の分散を持っており、伝送用シングルモード光ファイバと適切な長さで接続することで、伝送用シングルモード光ファイバで生じた正の分散を相殺することができ、高速通信が可能となる。さらに最近では、通信容量の増大に伴い、波長多重化が進められている。例えば、波長 $1.3\mu\text{m}$ 帯伝送用光ファイバに負の大きな波長分散と正の分散スロープを有する分散補償光ファイバを用いて分散を補償する場合、複数の波長のうち一つの波長については分散を補償することが可能であるが、その周辺の波長に対する分散補償効果は小さくなり、波長が離れるほど伝送特性は劣化する。そのため、負の分散スロープが得られる図6のようなW型屈折率分布を有する分散スロープ補償型の分散補償光ファイバ（以下「W型プロファイルの分散補償光ファイバ」と略記する）が開発されている。図6において、符号1は中心コア部、符号2はサイドコア部、符号4はクラッド部である。このW型プロファイルの分散補償光ファイバにおいて、クラッド部4に対する中心コア部1の比屈折率差 $\Delta 1$ 、クラッド部4に対するサイドコア部2の比屈折率差 $\Delta 2$ と、中心コア部1の半径 $a$ とサイドコア部2の半径 $b$ の比率を調節することにより、分散スロープも完全に補償することができる。このようにして作製された分散スロープ補償型分散補償光ファイバは、この光ファイバ自体が伝送路用としてケーブル化されるか、もしくは既存の伝送路の受信側、又は送信側に小型のモジュールとして挿入され、波長分散、及び分散スロープを補償する。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】しかし、従来の分散補償光ファイバは、図6に示す屈折率分布のプロファイルを有し、単位長さ当たりの波長分散の絶対値を大きくするために、中心コア部の比屈折率差 $\Delta 1$ を大きくし、コア周辺のサイドコア部の比屈折率差 $\Delta 2$ を小さくする構造を用い、コア径を細くしていた。 $\Delta 1=1.8\%$ 、 $\Delta 2=-0.4\%$ として $b/a$ の値を変化させたときの分散スロープ、及び波長分散の関係を図7に示す。図7におい

て、点線は100%の分散スロープ補償率を表しており、この値に近いことが望ましい。ここで、分散スロープ補償率とは、伝送用シングルモード光ファイバの分散スロープに対する分散補償光ファイバの分散スロープの割合を、伝送用シングルモード光ファイバの分散値に対する分散補償光ファイバの分散値の割合で割ったものである。また、図中に有効コア断面積 $A_{eff}$ の値を記載している。このように、W型プロファイルの分散補償光ファイバでも、所望の分散特性を得ることはできるが、曲げ損失が大きくなりやすく、また有効コア断面積が小さいため、非線形光学効果を生じやすいという問題点があった。

【0006】例えば、W型プロファイルの分散補償光ファイバを用いて分散スロープを補償した例が報告されている（OFC2000のTuG3、又は2000年電子情報通信学会総合大会C3-3-38）が、いずれも、有効コア断面積 $A_{eff}$ が $18.4\mu\text{m}^2$ であり、十分に拡大されているとはいえない。さらに、曲げ損失の改善、分散スロープの特性改善のために、図1に示すセグメント付きW型の屈折率分布を有する分散スロープ補償型の分散補償光ファイバも開発されている。図1中、符号1は中心コア部、符号2は中心コア部1の外周に設けられたコア部、符号3はコア部2の外周に設けられたリングコア部、符号4はリングコア部3の外周に設けられたクラッド部である。この分散補償光ファイバで分散スロープを補償した例について、本発明の発明者が行った報告（OECC2000、14C4-4）があるが、ここでは、有効コア断面積 $A_{eff}$ は $21.0\mu\text{m}^2$ と拡大されているものの、波長分散の絶対値が $61.5\text{ps/nm/km}$ と小さいため、小型コイルに巻き込んで分散補償光ファイバモジュールを作製する際には、ファイバ長を長くすることが必要となり、これによって、巻き込みに困難を生じ、モジュールサイズの小型化が困難であり、かつコスト高となることが問題となっていた。

【0007】このような問題点を解決するために、本発明者らは、特願2000-359772において、実効断面積が $20\mu\text{m}^2$ 以上、曲げ損失が $20\text{dB/m}$ 以下、波長分散が $-70\text{ps/nm/km}$ 〜 $100\text{ps/nm/km}$ の範囲にあり、かつ実質的にシングルモード伝搬可能なカットオフ波長を有し、使用波長帯よりも短波長の零分散波長を有するシングルモード光ファイバの波長分散を零に補償することができる長さで、このシングルモード光ファイバを補償したときの分散スロープの補償率が80%〜120%であることを特徴とする分散補償光ファイバ及び分散補償光ファイバモジュールを作製することができることを見出している。この分散補償光ファイバモジュールは、本発明の発明者の清水らが報告（電子情報通信学会2001.3、C3-3-33）したように、今までにない低い非線形性を有し、低損失で、かつ優れた分散スロープ補償機能を備えている。しかし、このような分散補償

光ファイバは、分散スロープ補償率を低い値から100%に近づけるにつれて、マイクロバンド損失が大きくなるという特性がある。また、分散値を小さくしたり、有効コア断面積を大きくすることでもマイクロバンド損失を生じやすくなる。このマイクロバンド損失を回避するために、リールを用いずに、樹脂で光ファイバを固定する方法が提案されている(NFOEC2000、pp420-429)。

【0008】ところで、光ファイバ心線は、通常、ガラス表面に1又は複数の紫外線硬化型ウレタンアクリレート樹脂などの紫外線硬化型樹脂などからなる被覆層が形成されて構成されている。この光ファイバ心線は、被覆層の表面が僅かに粘着性(以下「表面タック性」と略記する)を示すために、光ファイバ同士が接着してしまい、小型コイルに長尺の光ファイバを巻き込むような分散補償光ファイバモジュールでは、温度特性が劣化するという問題があった。この粘着性(表面タック性)は、光ファイバ同士の接合の度合いとして定義されるものであり、例えばその測定方法は、特開平10-62301号公報において開示されているように、送出口ロール上に互いに重なり合った状態で多数回巻回された光ファイバ心線を一定張力で巻取り、この巻取り時の光ファイバ心線にかかる張力変化から測定するものである。特に、この分散補償光ファイバモジュールの使用環境は様々な状態が予想され、低温領域では、-40℃、高温領域では+80℃までは安定した動作が必要となる場合もある。このモジュールに使用される分散補償光ファイバは、ファイバ長を短くし、かつ、小型化が可能のように、波長分散の絶対値を大きくし、有効コア断面積も大きくしているために、従来の分散補償光ファイバに比べて、マイクロバンド損失が大きい。そのため、この分散補償光ファイバをモジュール化すると、マイクロバンド損失と表面タック性との影響で、低温領域で損失が増加することが問題となっていた。この問題点は、分散補償光ファイバの特性にも起因するものであるが、光ファイバ同士の被覆が密着する小型コイルにおいて顕著であった。本発明は、このような事情を考慮してなされたもので、小型リールに巻き込んでも、広い温度範囲で損失変動が小さい分散補償光ファイバモジュールを提供することを目的とする。

【0009】

【課題を解決するための手段】以上の課題を解決するために、請求項1記載の発明は、光信号を伝送する際に生じる波長分散を補償する分散補償光ファイバにおいて、粘着性が10g/mm以下となる樹脂被覆を形成したことを特徴とする分散補償光ファイバである。請求項2記載の発明は、請求項1記載の発明において、被覆の最外層がシリコンを1重量%以上含有していることを特徴とする。請求項3記載の発明は、1層又は2層の被覆表面に、少なくとも3μm以上の厚さのコーティングを行

って最外被覆層を形成することにより、粘着性が1g/mm以下となる樹脂被覆を形成したことを特徴とする分散補償光ファイバである。請求項4記載の発明は、請求項3記載の発明において、最外被覆層は紫外線硬化型ウレタンアクリレート樹脂等からなる着色剤により形成されていることを特徴とする。請求項5記載の発明は、請求項3又は4記載の発明において、最外被覆層は、光ファイバの線引き工程とは別工程により形成されることを特徴とする。請求項6記載の発明は、請求項1、2、3、4又は5記載の発明において、ガラス外径が90μmから125μmであり、1層又は2層の被覆層の厚さが180μmから250μmであることを特徴とする。請求項7記載の発明は、請求項1、2、3、4、5又は6記載の発明において、光ファイバの曲げ損失特性が、曲げ直径が20mmで、20dB/m以下であることを特徴とする。請求項8記載の発明は、請求項1、2、3、4、5、6又は7記載の発明において、1.52μmから1.63μmまでの波長帯域から選択された少なくとも1つ以上の波長の光に対して、有効コア断面積が19μm<sup>2</sup>以上、波長分散が-70ps/nm/km以下であり、実質的にシングルモード光を伝搬することが可能なカットオフ波長を有し、使用される波長帯域よりも短波長の零分散波長を有するシングルモード光ファイバの波長分散を零に補償することができる長さで、このシングルモード光ファイバの波長分散を補償したときの分散スロープの補償率が80%から120%であることを特徴とする。請求項9記載の発明は、請求項1、2、3、4、5、6、7又は8記載の発明において、クラッド部の屈折率より大きい屈折率を有する中心コア部と、この中心コア部の外周に設けられクラッド部の屈折率より小さい屈折率を有するコア部と、このコア部の外周に設けられクラッド部の屈折率より大きい屈折率を有するリングコア部と、このリングコア部の外周に設けられたクラッド部からなるプロファイルを有する分散補償光ファイバであって、リングコア部半径が6μmから10μm、中心コア部半径に対するコア部半径の比が2.5から4.0、コア部半径に対するリングコア部半径の比が1.1から2.0であり、クラッド部に対する中心コア部の比屈折率が1.2%から1.7%、クラッド部に対するコア部の比屈折率が-0.20%から-0.45%、クラッド部に対するリングコア部の比屈折率が0.2%から1.1%であることを特徴とする。請求項10記載の発明は、請求項1から9記載の分散補償光ファイバをコイル状に巻き込んで形成することにより、温度による損失変動を抑制したことを特徴とする分散補償光ファイバモジュールである。請求項11記載の発明は、請求項10記載の発明において、分散補償光ファイバを20gfから70gfの間の巻き張力で、最小径200mm以下のリールに巻き込んだことを特徴とする。

【0010】

【発明の実施の形態】以下、本発明を詳細に説明する。図1に、本発明の分散補償光ファイバの第1の例の屈折率分布を示す。図1中、符号1は中心コア部、符号2は中心コア部1の外周に設けられたコア部、符号3はコア部2の外周に設けられたリングコア部、符号4はリングコア部3の外周に設けられたクラッド部である。中心コア部1は、クラッド部4の屈折率より大きい屈折率を有し、コア部2は、クラッド部4の屈折率より小さい屈折率を有し、リングコア部3は、クラッド部4の屈折率より大きい屈折率を有する。図1に示すように、中心コア部1の半径をa、コア部2の半径をb、リングコア部3の半径をcとすると、中心コア半径に対するコア半径の比 $b/a$ は2.5から4.0であり、コア半径に対するリングコア半径の比 $c/b$ は1.1から2.0であり、リングコア半径cは6 $\mu\text{m}$ から10 $\mu\text{m}$ となるようにこの分散補償光ファイバは形成されている。また、クラッド部4に対する中心コア部1の比屈折率差 $\Delta 1$ は1.2%から1.7%、クラッド部4に対するコア部2の比屈折率差 $\Delta 2$ は-0.20%から-0.45%、クラッド部4に対するリングコア部3の比屈折率差 $\Delta 3$ は0.2%から1.1%である。

【0011】この分散補償光ファイバは、1.52 $\mu\text{m}$ から1.63 $\mu\text{m}$ までの波長帯域から選択された少なくとも1つ以上の波長の光に対して、有効コア断面積が19 $\mu\text{m}^2$ 以上、波長分散が-70ps/nm/km以下であり、実質的にシングルモード光を伝搬することが可能なカットオフ波長を有し、使用される波長帯域よりも短波長の零分散波長を有するシングルモード光ファイバの波長分散を零に補償することができる長さで、このシングルモード光ファイバの波長分散を補償したときの分散スロープの補償率が80%から120%となっている。この分散補償光ファイバは、ガラス外径が90 $\mu\text{m}$ から125 $\mu\text{m}$ となるように形成され、厚さが180 $\mu\text{m}$ から250 $\mu\text{m}$ である1層又は2層の被覆層が樹脂により形成されている。この樹脂による被覆の最外層はシリコンを1%以上含有している。この分散補償光ファイバの被覆は、樹脂によって、好ましくは粘着性が10g/mm以下であるように形成され、より好ましくは粘着性が1g/mm以下であるように形成されている。

【0012】次に、本発明の分散補償光ファイバの第2の例について説明する。この例は、第1の例の分散補償光ファイバの被覆表面に、紫外線硬化型ウレタンアクリレート樹脂等からなる着色剤を、少なくとも3 $\mu\text{m}$ 以上の厚さでコーティングしたものである。このようなコーティングを行うことによって、被覆の粘着性を1g/mm以下とすることができる。なお、コーティングは着色剤によって行われることに限定されるものではなく、被覆の粘着性を低下させることができるものであれば、他の手段によってもよい。このコーティングは、光ファイ

バの線引き工程とは別工程により行われる。この例の分散補償光ファイバによると、光ファイバの曲げ損失特性が、曲げ直径が20mmで、波長1.52から1.63 $\mu\text{m}$ 帯から選択された使用波長帯域で、20dB/m以下であるように分散補償光ファイバを形成することができる。次に、本発明の分散補償光ファイバモジュールの例について説明する。この例の分散補償光ファイバモジュールは、本発明の分散補償光ファイバをコイル状に巻き込んで形成されている。この分散補償光ファイバは、最小径200mm以下のリールに、好ましくは20gfから70gfの間の巻き張力で巻き込まれ、より好ましくは30gfから50gfの間の巻き張力で巻き込まれている。このようにして作製された分散補償光ファイバモジュールは、光源と伝送用シングルモード光ファイバとの間に介設したり、伝送用シングルモード光ファイバの出射端側に設けたりして用いられる。この例によると、波長分散及び分散スロープを十分に補償することができ、かつ被覆の粘着性を低下させた分散補償光ファイバをコイル状に巻き込んで分散補償光ファイバモジュール形成することにより、小型コイルに分散補償光ファイバを巻き込む際に分散補償光ファイバ同士が接着して温度特性が劣化することを防止することができるため、広い温度範囲で損失変動が小さい分散補償光ファイバモジュールを提供することができる。また、低損失、小型化が可能な分散補償光ファイバモジュールを提供することができる。以下、具体例を示す。

【0013】(実施例1)MCVD法、PCVD法等により、図1に示すプロファイルを有する5種類の分散補償光ファイバを作製した。これらの分散補償光ファイバの中心コア部1の比屈折率差 $\Delta 1$ 、コア部2の比屈折率差 $\Delta 2$ 、リングコア部3の比屈折率差 $\Delta 3$ 、中心コア半径に対するコア半径の比 $b/a$ 、コア半径に対するリングコア半径の比 $c/b$ 、及びその他の光学特性を表1に示す。この分散補償光ファイバの線引きは、通常の紫外線硬化型樹脂を用いて行った。線引き時の条件を調整して、被覆表面の粘着性を5~6g/mmとした。線引き速度は、巻き崩れを考慮して300m/minとした。このようにして作製された分散補償光ファイバの伝送損失は、0.25から0.32dB/kmと低損失であり、有効コア断面積 $A_{\text{eff}}$ は20 $\mu\text{m}^2$ 以上と大きくすることができた。このような分散補償光ファイバのうち、表1に示したファイバA、Bを用いて、分散補償量の異なる3種類の分散補償光ファイバモジュールを作製した。この分散補償光ファイバモジュールの特性を表2に示している。表2からわかるように、分散スロープ補償率、挿入損失、PMD等の、モジュールとして要求される特性については、良好な結果が得られた。

【表1】

No.	$\Delta 1$	$\Delta 2$	$\Delta 3$	b/a	c/b	コア 半径 ( $\mu\text{m}$ )	波長 ( $\mu\text{m}$ )	$A_{\text{eff}}$ ( $\mu\text{m}^2$ )	伝送損失 (dB/km)	波長分散 (ps/nm/km)	分散スロープ (ps/nm <sup>2</sup> /km)	曲げ損失 (dB/m) 2R=20mm
A	1.65	-0.31	0.50	3.3	1.23	7.5	1.55	21.7	0.31	-84.2	-0.27	2.2
B	1.70	-0.32	0.50	3.4	1.23	7.5	1.55	20.7	0.32	-90.0	-0.28	1.3
C	1.36	-0.26	0.22	3.4	1.77	8.9	1.55	21.4	0.29	-82.0	-0.24	7.5
D	1.30	-0.44	0.96	3.2	1.20	6.2	1.55	20.5	0.28	-80.2	-0.24	3.9
E	1.30	-0.34	1.02	3.6	1.20	6.7	1.55	21.6	0.30	-80.0	-0.24	4.1

【表2】

(波長1550nm)

No	挿入損失 (dB)	分散量 (ps/nm)	分散スロープ (ps/nm <sup>2</sup> )	分散スロープ 補償率 (%)	$A_{\text{eff}}$ ( $\mu\text{m}^2$ )	波長1550nm帯 でのPMD(ps)
モジュールA	2.08	-340	-1.09	92	21.7	0.2
モジュールB	3.36	-680	-2.18	92	21.7	0.3
モジュールC	5.63	-1360	-4.23	89	20.7	0.4

この分散補償光ファイバモジュールと増幅器モジュールを、既存のシングルモード光ファイバ伝送路の端局に挿入することにより、伝送容量を上げ、伝送距離を伸ばすことが可能となる。また、曲げ損失が小さく、波長分散の絶対値も大きいため、モジュールの小型化が可能となる。また、この分散補償光ファイバモジュールの挿入損失の温度特性を図2に示している。この温度特性については、 $-40^{\circ}\text{C}$ 近辺の低温領域で2 dB程度の損失増が生じている。この損失増については、分散補償光ファイバモジュールが $-40^{\circ}\text{C}$ で連続して使用されることは稀であることを考慮すれば、環境条件を制限することによって、使用可能である。

【0014】(実施例2)MCVD法、PCVD法等により、図1に示すプロファイルを有し、表1に示した特性を持つ5種類の分散補償光ファイバを作製した。この分散補償光ファイバのファイバガラス径を $125\mu\text{m}$ とし、 $230\mu\text{m}$ 厚の2層構造の被覆を設けた。この分散

補償光ファイバの線引きは、通常の紫外線硬化型樹脂を用いて行った後、この線引き工程とは別工程で紫外線硬化型ウレタンアクリレート樹脂等からなる着色剤を厚さ $5\mu\text{m}$ でコーティングし、全体で $240\mu\text{m}$ の被覆とした。これにより、この分散補償光ファイバの被覆表面の粘着性は $1\text{g/mm}$ 以下となった。このようにして作製された分散補償光ファイバの伝送損失は、 $0.25$ から $0.32\text{dB/km}$ と低損失であり、有効コア断面積 $A_{\text{eff}}$ は $20\mu\text{m}^2$ 以上と大きくすることができた。このような分散補償光ファイバのうち、表1に示したファイバA、Bを用いて、分散補償量の異なる3種類の分散補償光ファイバモジュールを作製した。この分散補償光ファイバモジュールの特性を表3に示している。表3からわかるように、分散スロープ補償率、挿入損失、PMD等の、モジュールとして要求される特性については、良好な結果が得られた。

【表3】

(波長1550nm)

No	挿入損失 (dB)	分散量 (ps/nm)	分散スロープ (ps/nm <sup>2</sup> )	分散スロープ 補償率 (%)	$A_{\text{eff}}$ ( $\mu\text{m}^2$ )	波長1550nm帯 でのPMD (ps)
モジュールD	2.08	-340	-1.09	92	21.7	0.2
モジュールE	3.36	-680	-2.18	92	21.7	0.3
モジュールF	5.63	-1360	-4.23	89	20.7	0.4

また、この分散補償光ファイバモジュールの挿入損失の温度特性を図3に示している。この温度特性については、 $-40^{\circ}\text{C}$ から $+75^{\circ}\text{C}$ の範囲内で損失変動の最大値が $0.1\text{dB}$ 以下であり、温度特性が改善されているこ

とがわかる。これは、被覆表面の粘着性が $1\text{g/mm}$ 以下である分散補償光ファイバを用いて分散補償光ファイバモジュールを作製したことによって、低温領域における温度特性が改善されているものと考えられる。

【0015】(実施例3)MCVD法、PCVD法等により、図1に示すプロファイルを有し、表4に示した特性を持つ2種類の分散補償光ファイバを作製した。この例では、使用波長帯域を1565nmから1625nmとし、補償されるシングルモード光ファイバの分散特性

は、波長1590nmにおいて、波長分散が+19.0 ps/nm/km、波長分散スロープが+0.054 ps/nm<sup>2</sup>/kmとして分散補償光ファイバを設計した。

【表4】

(波長1590nm)

No.	$\Delta 1$	$\Delta 2$	$\Delta 3$	b/a	c/b	コア半径 ( $\mu\text{m}$ )	$A_{\text{eff}}$ ( $\mu\text{m}^2$ )	伝送損失 (dB/km)	波長分散 (ps/nm/km)	分散スロープ (ps/nm <sup>2</sup> /km)	曲げ損失 (dB/m) 2R=20mm
F	1.65	-0.31	0.50	3.3	1.23	8.6	24.7	0.30	-84.2	-0.21	2.2
G	1.70	-0.32	0.50	3.4	1.23	9.4	23.7	0.32	-90.0	-0.28	1.3

この分散補償光ファイバのファイバガラス径を125 $\mu\text{m}$ とし、230 $\mu\text{m}$ 厚の2層構造の被覆を設けた。この分散補償光ファイバの線引きは、通常の紫外線硬化型樹脂を用いて行った後、この線引き工程とは別工程で紫外線硬化型ウレタンアクリレート樹脂等からなる着色剤を厚さ5 $\mu\text{m}$ でコーティングし、全体で240 $\mu\text{m}$ の被覆とした。これにより、この分散補償光ファイバの被覆表面の粘着性は1g/mm以下となった。このようにして作製された分散補償光ファイバの伝送損失は、0.25から0.32 dB/kmと低損失であり、有効コア断面

積 $A_{\text{eff}}$ は20 $\mu\text{m}^2$ 以上と大きくすることができた。このような分散補償光ファイバのうち、表4に示したファイバF、Gを用いて、分散補償量の異なる3種類の分散補償光ファイバモジュールを作製した。この分散補償光ファイバモジュールの特性を表5に示している。表5からわかるように、分散スロープ補償率、挿入損失、PMD等の、モジュールとして要求される特性については、良好な結果が得られた。

【表5】

(波長1590nm)

No	挿入損失 (dB)	分散量 (ps/nm)	分散スロープ (ps/nm <sup>2</sup> )	分散スロープ 補償率 (%)	$A_{\text{eff}}$ ( $\mu\text{m}^2$ )	波長1590nm帯 でのPMD(ps)
モジュールG	2.15	-380	-0.95	89	24.7	0.2
モジュールH	3.51	-760	-1.90	89	24.7	0.3
モジュールI	6.04	-1520	-4.05	95	23.7	0.4

また、この分散補償光ファイバモジュールの挿入損失の温度特性を、使用波長帯域で最も長波長の1625nmで測定した結果を図4に示している。この温度特性については、-40℃から+75℃の範囲内で損失変動の最大値が0.2 dB以下であり、温度特性が改善されていることがわかる。以上説明した実施例と比較するために、以下に比較例を示す。

【0016】(比較例1)MCVD法、PCVD法等により、図1に示すプロファイルを有し、表1に示した特性を持つ5種類の分散補償光ファイバを作製した。この

分散補償光ファイバの線引きは、通常の紫外線硬化型樹脂を用いて行った。被覆表面の粘着性は15g/mmであった。この分散補償光ファイバのうち、表1に示したファイバA、Bを用いて、分散補償量の異なる5種類の分散補償光ファイバモジュールを作製した。この分散補償光ファイバモジュールの特性を表6に示している。表6からわかるように、分散スロープ補償率、挿入損失、PMD等の、モジュールとして要求される特性については、良好な結果が得られた。

【表6】



(波長1550nm)

No	挿入損失 (dB)	分散量 (ps/nm)	分散スロープ* (ps/nm <sup>2</sup> )	分散スロープ* 補償率 (%)	Aeff (μm <sup>2</sup> )	波長1550nm帯 でのPMD (ps)
モジュールJ	2.08	-340	-1.09	92	21.7	0.2
モジュールK	3.36	-680	-2.18	92	21.7	0.3
モジュールL	3.22	-680	-2.12	89	20.7	0.4
モジュールM	5.91	-1360	-4.36	92	21.7	0.3
モジュールN	5.63	-1360	-4.23	89	20.7	0.4

しかし、図5にその温度特性を示すように、 $-40^{\circ}\text{C}$ の低温領域において、最大で3 dBを超える大きな損失増が確認された。これは、被覆表面の粘着性が $15\text{ g/mm}$ と、実施例に比べて大きな値であることが原因であると考えられる。

【0017】(比較例2) MCVD法、PCVD法等により、図1に示すプロファイルを有し、表1に示した特性を持つ5種類の分散補償光ファイバを作製した。この分散補償光ファイバの線引きは、通常の紫外線硬化型樹脂を用いて行った。線引き時の条件を調整して、被覆表面の粘着性を $5\sim 6\text{ g/mm}$ とした。しかし、線引き工程において、線引き速度を $400\text{ m/min}$ 以上の高速にすると、巻き込みボビン側で巻き崩れが生じ、粘着性を小さくしたこの例の分散補償光ファイバは、高速線引きに適用することが困難であった。

【0018】

【発明の効果】以上説明したように、本発明によると、波長分散及び分散スロープを十分に補償することができ、かつ被覆の粘着性を低下させた分散補償光ファイバをコイル状に巻き込んで分散補償光ファイバモジュール形成することにより、コイルに分散補償光ファイバを巻き込む際に分散補償光ファイバ同士が接着して温度特性が劣化することを防止することができるため、広い温度

範囲で損失変動が小さい分散補償光ファイバモジュールを提供することができる。また、低損失、小型化が可能な分散補償光ファイバモジュールを提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の分散補償光ファイバの屈折率分布プロファイルを示す図である。

【図2】本発明の分散補償光ファイバモジュールの例の損失温度特性を示す図である。

【図3】本発明の分散補償光ファイバモジュールの他の例の損失温度特性を示す図である。

【図4】本発明の分散補償光ファイバモジュールの他の例の損失温度特性を示す図である。

【図5】分散補償光ファイバモジュールの比較例の損失温度特性を示す図である。

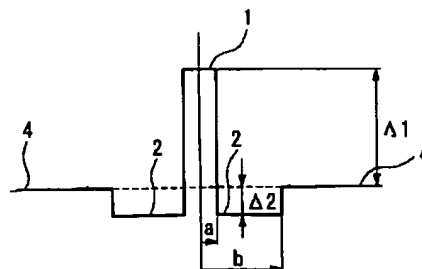
【図6】従来の分散補償光ファイバの屈折率分布プロファイルを示す図である。

【図7】従来の分散補償光ファイバの分散スロープ、波長分散の関係を示す図である。

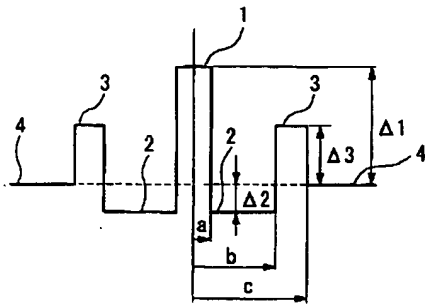
【符号の説明】

1…中心コア部、2…コア部、3…リングコア部、4…クラッド部

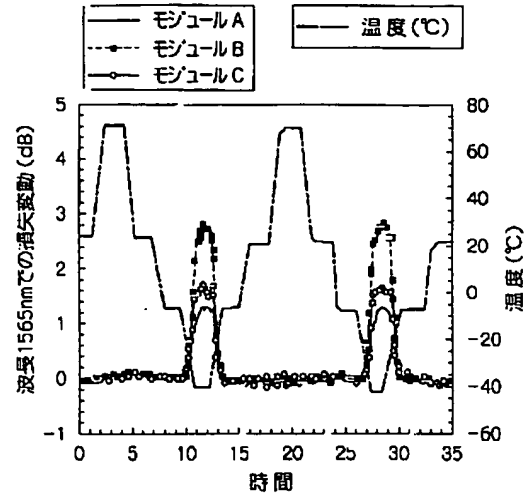
【図6】



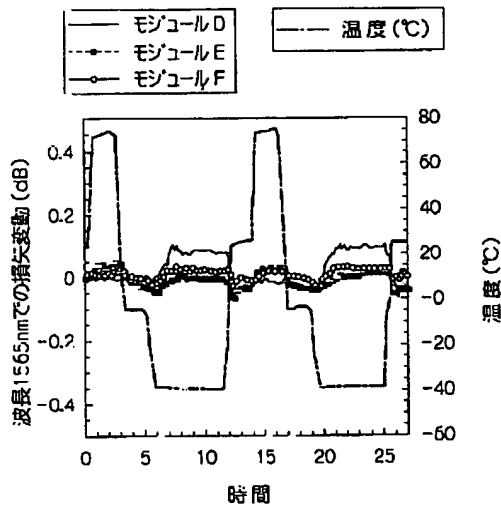
【図1】



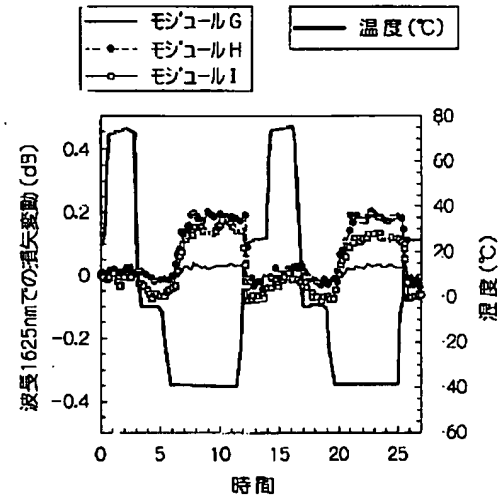
【図2】



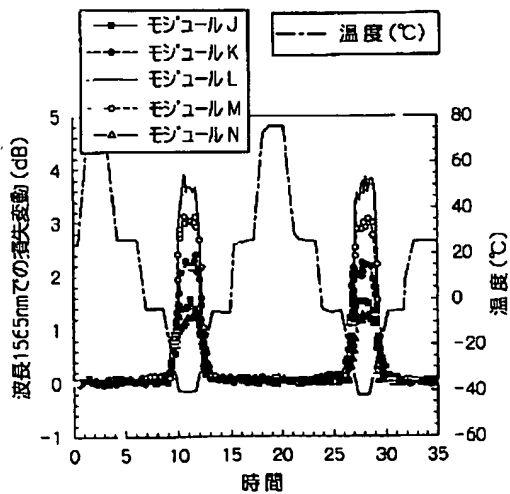
【図3】



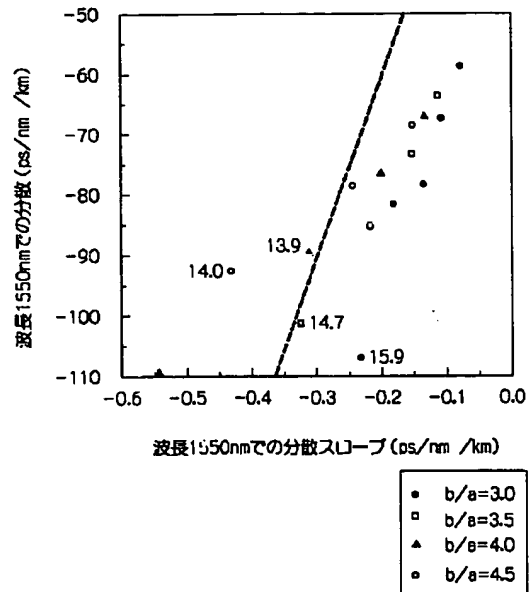
【図4】



【図5】



【図7】



図中の数字は  
波長1550nmでの有効JA断面積  
(単位は $\mu\text{m}^2$ )

フロントページの続き

(72)発明者 清水 正砂  
千葉県佐倉市六崎1440番地 株式会社フジ  
クラ佐倉事業所内

(72)発明者 鈴木 孝昭  
千葉県佐倉市六崎1440番地 株式会社フジ  
クラ佐倉事業所内

(72)発明者 中山 真一  
千葉県佐倉市六崎1440番地 株式会社フジ  
クラ佐倉事業所内

(72)発明者 姫野 邦治  
千葉県佐倉市六崎1440番地 株式会社フジ  
クラ佐倉事業所内

(72)発明者 山内 良三  
千葉県佐倉市六崎1440番地 株式会社フジ  
クラ佐倉事業所内

(72)発明者 大橋 圭二  
千葉県佐倉市六崎1440番地 株式会社フジ  
クラ佐倉事業所内

(72)発明者 藤巻 宗久  
千葉県佐倉市六崎1440番地 株式会社フジ  
クラ佐倉事業所内

Fターム(参考) 2H050 AC28 AC71 AD00 BB04S  
BB07S BB19S BB33S BC01  
BD00